

Elmeri Heinonen

Atex-tilojen ilmanvaihto

Opinnäytetyö

Talotekniikan koulutus

Insinööri (AMK)

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkintonimike	Aika
Elmeri Heinonen	Talotekniikka (AMK)	Toukokuu 2020
Opinnäytetyön nimi Atex-tilojen ilmanvaihto		39 sivua 13 liitesivua
Toimeksiantaja Etteplan Finland Oy		
Ohjaaja Jarmo Tuunanen (Xamk) Harri Vepsäläinen (Etteplan Finland Oy)		
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Räjähdysvaarallisten- eli Atex-tilojen ilmanvaihdon vaatimuksia ja vaatimuksien tasoisten ilmavirtojen mitoittamisen perusteita. Ilmanvaihtoon ja sen vaatimuksiin tutustuttiin tutkimalla aihetta käsitteleviä lainsäädäntöjä, direktiivejä, standardeja sekä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Tietoa sovellettiin työssä käytössä olleeseen case-esimerkkiin, johon ilmanvaihdon ilmavirran mitoittamista tutkittiin päästöperusteisesti ja vertailtiin ohjeellisen ilmanvaihtokertoimen riittävyttä asetusten asettamiin vaatimuksiin.</p> <p>Ohjeellisella ilmanvaihtokertoimella saadaan case-esimerkki tilassa riittävä ilmanvaihto, jolla tilaluokitusta ei jouduta tiukentamaan. Lainsäädännön asettamiin tavoitearvoihin luotettavasti pääsemiseen on kuitenkin hyvä arvioida ilmanvaihdon riittävyys päästöperusteisesti. Tilan ilmantilavuuden sekoittumiseen on suuri merkitys käytettävällä ilmanvaihtojärjestelmällä. Räjähdysvaarallisissa tiloissa päästön laimenemista tulee arvioida tilan taustapitoisuuden sekä ilmanvaihdon tuottaman ilmavirran nopeuden perusteella. Sisätiloissa taustapitoisuus on kriittinen tekijä koko tilan laimenemisen laadun arvioimisessa.</p> <p>Räjähdysvaarallisia tiloja suunniteltaessa ja niiden luokitusta arvioitaessa tulee arvioida tilaa mahdollisesti kuormittavat päästömäärät. Ilmanvaihdon suunnittelussa huomioitavaa on, että koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä saadaan tilan olosuhteita hallitua paremmin kuin pelkällä koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä. Koska päästö ei aina esiinny samansuuruisena, on tiloissa arvioitava tarpeenmukaisen ilmanvaihdon eli mahdollisen tehostusmahdollisuuden tarpeellisuutta. Ilmanvaihdolla ja sen oikealla suunnittelulla onkin suuri rooli kaasuräjähdysvaarallisten tilojen turvallisuuden takaamiseksi.</p>		
Asiasanat Atex, ilmanvaihto, tärpätti		

Author (authors)	Degree	Time
Elmeri Heinonen	Building services, Bachelor of Engineer- ing	May 2020
Thesis title		39 pages 13 pages of appendices
Ventilation in explosive atmospheres		
Commissioned by		
Etteplan Finland Oy		
Supervisor		
Jarmo Tuunanen (Xamk) Harri Vepsäläinen (Etteplan Finland Oy)		
Abstract		
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to examine the ventilation requirements in explosive atmospheres, Atex-areas. The requirements have been given in Atex directives, EN standards and Finnish legislation. This thesis discusses the basics of the classification in potentially explosive areas, safety requirements and the need for ventilation in potentially explosive areas.</p> <p>The gathered information was utilized by dimensioning the airflows using different methods for a case site. It was normal industrial pump in indoor pumping turpentine oil. The amount of indicative ventilation was compared to the requirements. The effect of the room ventilation system on the dilution of emissions was investigated in an example site.</p> <p>The result is that the indicative ventilation achieves adequate ventilation in the case site. Ventilation should be dimensioned based on emissions to ensure safety in hazardous areas. Mechanical supply and exhaust air system is more reliable for safe dilution than a mechanical exhaust air system. Ventilation should be designed to be improved based on emissions.</p>		
Keywords		
Atex, ventilation, turpentine oil		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	ATEX-TILAT	8
2.1	Räjähdyksrajat.....	9
2.2	Tilaluokat	9
2.3	Palavat aineet	10
3	ATEX-LAITTEET	11
3.1	Laiteluokat	11
3.2	Laitteiden merkintä	12
3.3	Lämpötilaluokka.....	13
4	PÄÄSTÖT	13
4.1	Päästöluokka	14
4.2	Päästölähteen määrän arviointi	14
5	ILMANVAIHTO ATEX-TILASSA	15
5.1	Ilmanvaihdon vaatimukset	16
5.2	Päästöjen laimeneminen	16
5.3	Ilmanvaihdon käytettävyys.....	18
6	RÄJÄHDYSVAARAN ARVIOINTI	18
7	ILMANVAIHDON SUUNNITTELU	19
7.1	Ilmavirtojen mitoittaminen	19
7.2	Tasapainotilanne	21
7.3	Aikariippuva tilanne.....	22
8	CASE KOHDE	24
8.1	Tilan päästömäärän laskeminen	24
8.2	Ilmavirran määrä.....	25
8.3	Taustapitoisuus tasapainotilanteessa	26
8.4	Pitoisuuden muutos aikariippuvana	26
8.5	Laimenemisen arviointi	27
9	TULOKSET	28

10	TULOSTEN TARKASTELU	32
11	JOHTOPÄÄTÖKSET	34
12	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET.....	37

LIITTEET

Liite 1. Päästö määrän arviointi putkistosta

Liite 2. Ilmavirtojen mitoitus, koneellinen poistoilma

Liite 3. Ilmavirtojen mitoitus, koneellinen tulo- ja poistoilma

Liite 4. Ilmanvaihdon suunnitteluprosessi kaasuräjähdyksvaarallisissa tiloissa

Merkinnät

A_v = Ilmavirtauksen poikkipinta-ala	[m ²]
C_d = Purkautumiskerroin nestepäästölle	[-]
C_t = Tilan taustapitoisuus	[g/m ³]
C = Oleskeluvyöhykkeen tavoitearvo	[g/m ³]
C_{crit} = Kriittinen taustapitoisuus (25% * LFL)	[g/m ³]
$C_{(t)}$ = Aineen pitoisuus ilmassa ajan t kuluttua	[g/m ³]
C_0 = Aineen alkupitoisuus ilmassa	[g/m ³]
C_∞ = Pitoisuus tasapainotilanteessa	[g/m ³]
f = Ilman sekoittumista kuvaava kerroin	[-]
G = Tilan epäpuhtauden tuotto	[kg/s]
k = LFL: n liittyvä varmuuskerroin	[-]
LFL = Aineen alempi syttymisraja	[til./til.]
LFL _v = Aineen alempi syttymisraja	[til./%]
LFL _m = Aineen alempi syttymisraja	[kg/m ³]
M = Moolimassa	[kg/kmol]
n = Ilmanvaihtokerroin	[1/h]
P_a = Normaali ilmanpaine (101,3 kPa)	[Pa]
Δp = Paine-ero	[Pa]
q_m = Nestepäästön massavirta	[kg/s]
$q_{v, t}$ = Nestepäästön tilavuusvirta	[m ³ /s]
q_g = Kaasu/höyry päästön massavirta	[kg/s]
$q_{g, t}$ = Kaasu/höyry päästön tilavuusvirta	[m ³ /s]
q' = Suhteellinen päästö määrä	[m ³ /s]
$q_{i,t,min}$ = Teoreettinen pienin tuloilmavirta	[m ³ /s]
$q_{i, t}$ = Tuloilmavirta	[m ³ /s]
q = tilan ilmavirta	[m ³ /s]
R = Kaasuvakio, (8314 J kmol ⁻¹ K ⁻¹)	[J kmol ⁻¹ K ⁻¹]
ρ = Nesteen tiheys	[kg/m ³]
ρ_g = Kaasun tiheys	[kg/m ³]
S = Nestepäästön purkausaukon pinta-ala	[m ²]
T_a = Ympäristön lämpötila	[K]
t_d = teoreettinen aika, jossa taustapitoisuus laimenee johonkin alempaan pitoisuuteen	[s]
t = Ilmanvaihdon aikavakio	[s,min,h]

V_0 = Tilan tilavuus

[m³]

v = Ilmavirran nopeus

[m/s]

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ilmanvaihtoa ja sen vaatimuksia räjähdysvaarallisissa tiloissa eli Atex-tiloissa. Ilmanvaihdolla on suuri osuus kaasuräjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuudesta. Pölyräjähdysvaarallisten tilojen ilmanvaihtoon liittyen on omat erityispiirteensä, joita ei tässä työssä käsitellä.

Tavoitteena työssä on selvittää, mitä vaatimuksia ja huomioitavia piirteitä ilmanvaihdolle on kaasuräjähdyksivaarallisissa tiloissa sekä arvioida olemassa olevan ohjeellisen ilmanvaihtokertoimen riittävyttä asetuksen vaatimuksiin.

Työssä tutustutaan Atex-tiloja ja niiden laitteita käsittelevien direktiivien, lakien, asetusten ja standardien asettamiin vaatimuksiin ja hyviin käytäntöihin. Työssä ilmanvaihdon riittävyttä lähestytään vertailemalla ilmavirtojen mitoitusterusteita ja niiden riittävyttä vaatimusten ja olemassa olevien ohjeellisten arvojen välillä.

Työ ei tarjoa valmista opasta ilmanvaihdon suunnitteluun kaasuräjähdyksivaarallisissa tiloissa, vaan ilmanvaihto on suunniteltava aina tapauskohtaisesti huomioiden kunkin tilan erityispiirteet. Työ auttaa ymmärtämään perusasioita Atex-tiloista sekä sitä, mitä kaikkea tulee huomioida kaasuräjähdyksivaarallisten tilojen ilmanvaihdossa. Työstä käy ilmi myös, mitkä lait ja asetukset määrittävät kaasuräjähdyksivaarallisten tilojen ilmanvaihtoa.

2 ATEX-TILAT

Atex-tilat ovat tiloja, joissa on mahdollista esiintyä räjähdysvaarallinen ilma-seos. Palava aine kaasu, sumu, höyry tai pöly voi muodostaa räjähdysvaarallisen seoksen normaalipaineessa olevan ilman kanssa. Räjähdysvaarallisia tiloja eli atex-tiloja on etenkin teollisuudessa. Atex lyhenne tulee sanoista "atmosphères explosibles". Atex-tilat on merkittävä kuvassa 1 esitetyllä varoitusmerkillä. /1./



Kuva 1. Varoitusmerkki /2/

2.1 Räjähdyksrajat

Syttyville aineille on määritelty ylempi- ja alempi räjähdyksraja. Alempi räjähdyksraja määrittää pitoisuuden, milloin ainetta on tarpeeksi ilmassa, että se kykenee räjähtämään. Ylempi räjähdyksraja ilmoittaa suurimman ainepitoisuuden, jolloin ilmaseos voi räjähtää. Tätä suuremmissa pitoisuuksissa seoksessa ei ole tarpeeksi happea, jotta räjähdys voisi syntyä. /3./

2.2 Tilaluokat

Atex -tilat ja vyöhykkeet jaetaan turvallisuuden vuoksi eri tilaluokkiin, tätä kutsutaan tilaluokituksiksi. Tilaluokitus perustuu Atex-olosuhdedirektiiviin 1999/92/EY, joka säätelee Atex-tiloille asetettuja vaatimuksia. /4./ Tilaluokituksen tueksi aiheesta on julkaistu standardeja ja käsikirjoja. Tilaluokat jaetaan kahteen kategoriaan tilassa esiintyvän räjähdyksvaarallisen ilmaseoksen perusteella. Tilaluokitukset tehdään pölyilmaseoksille ja kaasuilmaseoksille. /5./ Tilaluokitukset tehdään tilan normaalitoiminnan perusteella. Normaalitoiminnan aikaan laitetta käytetään suunnitteluarvojen rajoissa. Vauriot, jotka vaativat korjausta ei ole normaalitoimintaa. /4./

Tilaluokitus määräytyy sen perusteella, kuinka kauan ja usein räjähdykskelpoinen ilmaseos esiintyy. Atex-direktiivin mukaiset tilaluokitukset kaasu- ja pölyilmaseoksille on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Räjähdyksvaarallisten tilojen tilaluokitusten määritelmät /4/

Tilaluokka 0	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
Tilaluokka 1	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
Tilaluokka 2	Tila, jossa toisaalta ilman ja toisaalta kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen on normaalitoiminnassa epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.
Tilaluokka 20	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
Tilaluokka 21	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos todennäköisesti esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
Tilaluokka 22	Tila, jossa toisaalta ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.

Tilaluokat 0,1 ja 2 ovat kaasuräjähdyksvaarallisia tiloja. Tilaluokka 0 on vaarallisin tila ja tilaluokka 2 vähiten vaarallinen tila. Kaasuräjähdyksvaarallisten tilojen tilaluokituksen tueksi on julkaistu standardi EN 60079-10-1 /5/, sekä SFS- käsikirja 59 /7/. Tilaluokitukset toteutetaankin useasti soveltaen valmiina olevia esimerkkejä. /5./

Pölyräjähdysvaarallisia tilaluokkia ovat 20, 21 ja 22. Joista tilaluokka 20 on vaarallisin ja vähiten vaarallisin tilaluokka on 22. Pölyräjähdysvaarallisten tilojen tilaluokituksen tueksi on julkaistu standardi EN 60079-10-2 Pölyräjähdysvaarallisten tilojen luokituksessa on huomioitava, että pölykerrokset voivat myös aiheuttaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. /8./

2.3 Palavat aineet

Palavat kaasut ja höyryt jaotellaan kolmeen räjähdysryhmään (kaasuryhmään) niiden ominaisuuksien mukaisesti. Räjähdysryhmät kaasuille on IIA, IIB ja IIC. Vaarallisin räjähdysryhmistä on IIC. Räjähdysryhmä IIA on vähiten vaarallisin luokitus. /9./ Myös pölyt jaetaan vastaavin räjähdysryhmiin IIIA, IIIB ja IIIC /10/.

Kaasut luokitellaan myös syttymisryhmiin T1–T6. Syttymisryhmä määräytyy kaasun itsesyttymislämpötilan perusteella /7/. Syttymisryhmiä vastaavat kaasun syttymislämpötilat esitetty taulukossa 4 luvussa 3.3. Useimpien aineiden ominaisuudet ja ryhmät on esitetty standardissa EN ISO 80079-20-1 /9/.

3 ATEX-LAITTEET

Atex-tiloissa käytettävät laitteet eivät saa edesauttaa räjähdysten syttymistä. Atex-tiloissa käytettävistä laitteista ja niiden turvallisuudesta säädetään Atex-laitedirektiivissä 2014/34/EU. /11/. Direktiivin pohjalta on säädetty laki 1139/2016 /12./ ja valtioneuvoston asetus 1439/2016 /13./. Atex-laitedirektiiviä sovelletaan kaikkiin räjähdysvaaralliseen tilaan asennettaviin mekaanisiin ja sähköisiin laitteisiin ja niiden komponentteihin /9./.

3.1 Laiteluokat

Kaikki atex-tiloissa käytettävät ja niihin asennettavat laitteet jaotellaan laiteluokkiin. Atex-laitedirektiivin mukaan tuotteet luokitellaan eri laiteluokkiin sen mukaan, missä olosuhteissa ne on suunniteltu käytettäväksi. Direktiivissä jaotellaan tuotteet kahteen ryhmään, jotka ovat ryhmä I ja ryhmä II. Ryhmän I laitteita käytetään kaivoksissa, joissa esiintyy kaivoskaasua. Kaivoskaasu koostuu suurimmaksi osaksi metaanista, mutta sisältää myös pieniä määriä muita kaasuja. Ryhmän II laitteet soveltuvat muihin räjähdysvaarallisiin tiloihin. Laitteiden jaottelu alaluokkiin ja tarkemmat suojausvaatimukset määräytyvät sen mukaan, mihin olosuhteisiin laitteet on suunniteltu. /11/; /14/.

Laitteiden yleisistä vaatimuksista ja merkinnöistä on tehty standardi EN IEC 60079 -0:2019. Standardin terminologia poikkeaa direktiivistä laiteryhmiä osalta. Standardissa laiteryhmiä on kolme I, II ja III. Ryhmä I on vastaava, kuin direktiivin ryhmä I. Ryhmän II laitteet on tarkoitettu kaasuräjähdysvaarallisiin tiloihin ja ryhmän III laitteet pölyräjähdysvaarallisiin tiloihin. Direktiivissä nämä on eritelty kirjaimilla G eli kaasu ja D pöly. Taulukossa 2 on koottu Atex-laitedirektiivissä 94/9/EC sekä standardissa EN 60079-0 käytetyt laiteluokitukset. /10./

Taulukko 2. Atex-laitteiden luokittelu standardin ja direktiivin mukaan /14/

Tilaluokat ja ryhmät			Vaaditut laitemerkinnät		
Syttyvät materiaalit	Räjähdysvaarallisen ilmanalan hetkelliskäyttö	Räjähdysvaaralliset tilaluokat	Räjähdysryhmä direktiivin mukaan	Laiteluokka direktiivin mukaan	Laiteryhmä standardin mukaan
Kaasut höyryt	Jatkuvasti tai pitkäaikaisesti tai toistuvasti	Tilaluokka 0	II	1G	II
	Normaalitoiminnassa satunnaisesti	Tilaluokka 1	II	2G/1G	II
	Ei todennäköisesti esiinny normaalitoiminnassa, tai kestää vain lyhytaikaisesti	Tilaluokka 2	II	3G/2G/1G	II
Pölyt	Esiintyy pilvimuodossa jatkuvasti tai pitkäaikaisesti tai toistuvasti	Tilaluokka 20	II	1D	III
	Kehittyy satunnaisesti pilveksi normaalitoiminnan aikana	Tilaluokka 21	II	2D/1D	III
	Kehittyy korkeintaan vain lyhyeksi ajaksi pilveksi normaalitoiminnan aikana.	Tilaluokka 22	II	3D/2D/1D	III
Kaivoskaasut (Metaani, Hiilipöly)	Toiminta, jossa räjähdysriski.		I	M1	I
	Toiminnassa ei räjähdysriskiä		I	M2/M1	I

3.2 Laitteiden merkintä

Sähkölaite

Kuvassa 2 esitetty tyypillinen Atex-sähkölaitteen merkintä /1/. Sähkölaitteiden räjähdyssuojausrakenteista, jota kuvassa 2 esittää merkintä "d" on kerrottu tarkemmin standardissa EN 60079-14 /15/.



Kuva 2. Ex -laitteen merkintä /10/

Mekaaninen laite

Mekaanisten laitteiden vaatimuksista määritellään standardeissa ISO 80079-36 ja ISO 80079-37 /16/; /17/. Lisämerkintää, joka kertoisi räjähdyssuojausrakenteen ei ole olemassa mekaanisille laitteille. Räjähdyssuojausrakennetta,

joka on valittu esimerkiksi standardin ISO 80079-37 mukaan ei voida tunnistaa laitteessa olevasta Ex-merkinnästä, sillä kaikki räjähdysuojarakenteet merkitään kirjaimella "h". Taulukossa 3 on esitetty muiden kuin sähkölaitteiden rakenteelliset suojaukset ja mille laiteluokille se soveltuu. Tyypillinen mekaanisen laitteen merkintä on "Ex h IIB T4 Gb, jossa kirjain h vastaa räjähdysuojarakennetta. /17./ Merkinnässä kirjainyhdistelmä "Gb" on laitteen EPL eli, räjähdysuojaustaso. Räjähdysuojaustasot voidaan esittää myös räjähdysvaarallisten tilojen sähkölaitteiden merkinnässä. Räjähdysuojaustasot on selitetty standardissa EN 60079-0. /14./

Taulukko 3. Muiden kuin sähkölaitteiden rakenteelliset suojaukset /17/

Suojausrakenne	Merkintä	Laiteluokat	
		Ryhmä I	Ryhmä II
Räjähdysspaineenkestävä kotelointi "d"	h	M2	2G ja 2D
Rakenteellinen turvallisuus "c"	h	M2	2G, 2D, 1G ja 1D
Syttymislähteiden valvonta "b"	h	M2	2G,2D,1G ja 1D
Nesteeseen upottaminen "k"	h	Kaikille laiteluokille	

3.3 Lämpötilaluokka

Räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen laitteiden suurin sallittu pintalämpötila on määriteltä aineiden syttymisryhmien mukaisesti. Taulukossa 4 laitteiden suurimmat sallitut pintalämpötilat kussakin lämpötilaluokassa. /7/.

Taulukko 4. Laitteiden valinta pintalämpötilan mukaan /7/

Syttymisryhmä	Kaasun (höyryn) syttymislämpötila °C	Laitteen suurin sallittu pintalämpötila °C
T1	>450	450
T2	300 - 450	300
T3	200 - 300	200
T4	135 - 200	135
T5	100 - 135	100
T6	85 - 100	85

4 PÄÄSTÖT

Räjähdysvaaralliset tilat syntyvät, kun tiloissa esiintyy mahdollisia päästölähteitä eli paikkoja, josta palavaa ainetta voi vapautua ympäristöön muodostaen

räjähdyskelpoisen kaasuilmaseoksen. Päästölähteiden päästoluokka onkin tärkein tekijä, joka vaikuttaa tilaluokan laajuuteen. /6./

4.1 Päästoluokka

Päästölähteet voidaan jakaa kolmeen päästoluokkaan sen perusteella, kuinka usein ja todennäköisesti räjähdysvaarallinen ilmaseos esiintyy. Päästoluokat ovat jatkuva-, primäärinen- ja sekundäärinen päästoluokka. Jatkuva päästoluokassa päästö on jatkuvaa tai se esiintyy niin usein, että sitä voidaan pitää käytännössä jatkuvana. Primäärinen päästö esiintyy normaalikäytössä toistuvasti. Sekundäärinen päästö esiintyy normaalitoiminnassa harvoin. /6./

4.2 Päästölähteen määrän arviointi

Päästoluokan arviointi on tärkein vaihe määritettäessä tilalle päästömäärää. Päästoluokan arvioinnista ja laskemisesta kaasuräjähdysvaarallisissa tiloissa on opastettu standardissa EN 60079-10-1.

Erilaisille päästöille kaasuräjähdysvaarallisissa tiloissa on annettu standardissa EN 60079-10-1 ohjeellisia laskentayhtälöitä, joita voidaan soveltaa laskettaessa päästön määrää aikayksikköä kohti. Työssä esitetään nestepäästön laskentaa putkistosta ja sen varusteista. Nestepäästöstä aiheutuu tilaan syntyvä räjähdysvaarallinen kaasu. Nestepäästön suuruus voidaan arvioida seuraavalla yhtälöllä: /6./

$$q_m = C_d S \sqrt{2\rho \Delta p} \quad (1)$$

jossa,	q_m = Nestepäästön massavirta	[kg/s]
	C_d = Purkautumiskerroin	[-]
	S = Purkausaukon pinta-ala	[m ²]
	Δp = Paine -ero päästölähteessä	[Pa]
	ρ = Nesteen tiheys	[kg/m ³]

Nestepäästö ei kokonaan haihdu ilmaan, vaan osa nesteestä valuu viemäriin. Höyrystyvän kaasun määrä voidaan arvioida sopivaa ohjeistusta käyttäen pro-

senttiluvulla vuotaneen nesteen määrästä. Arvio höyrystyvän kaasun määrästä on esitetty standardissa 60079-10-1. Myös muita lähteitä voi hyödyntää. /6./

Kaasun tilavuusvirta saadaan jakamalla massavirta kaasun tiheydellä. Kaasun tiheys saadaan yhtälöstä 2. /6./

$$\rho_g = \frac{M \cdot P_a}{R \cdot T_a} \quad (2)$$

jossa,	ρ_g = Kaasun tiheys	[kg/m ³]
	M = Aineen moolimassa	[kg/kmol]
	P _a = Normaali ilmanpaine	[Pa]
	T _a = Ympäristön lämpötila	[K]
	R = Yleinen kaasuvakio	[J/kmol, K]

5 ILMANVAIHTO ATEX-TILASSA

Oikean suuruisella ilmanvaihdolla voidaan pienentää aikaa, jolloin räjähdysvaarallinen kaasuilmaseos esiintyy. Näin voidaan myös vaikuttaa tilan tilaluokituksen ja jopa pienentää päästö merkityksettömäksi poistaen tilaluokitus kokonaan.

Haihtuvat kaasut ja höyryt laimenevat hajaantuessaan ympäristöön häviten lopulta kokonaan. Ilman liike voi myös lisätä höyrypäästöjen määrää, vaikka hyödyt useimmissa tapauksissa kompensoivatkin aiheutuneet haitat. Ilmanvaihdon tarkoitus tiloissa onkin lisätä ilman liikettä ja nopeuttaa päästöjen laimentumista.

Painovoimaista ilmanvaihtoa käytettäessä pitää ilmanvaihdon tehon vaihtelu huomioida ja laskea ilmanvaihdon tehokkuus pahimmassa mahdollisessa tilanteessa. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu lämpötilaeroon ulkoilman ja sisäilman välillä. Mitä pienempi on lämpötilaero sitä, vähemmän tilassa vaihtuu ilmaa.

Koneellinen ilmanvaihto voi olla kokotilaa palveleva yleisilmanvaihto, jolla saadaan aikaan ilmanliikettä ja sen seurauksena päästön laimenemista. Koneellinen ilmanvaihto voi olla myös paikallispoisto, jolla rajataan päästön leviäminen ympäristöön. Poistoilmanvaihdon suunnittelussa on kuitenkin huomioitava, että pitoisuudet poistoilmakanavistossa, puhaltimessa ja ulospuhallusaukon vaikutusalueella ovat suuria. /6./

5.1 Ilmanvaihdon vaatimukset

Atex-olosuhdedirektiivin perusteella on säädetty lakeja ja asetuksia. Valtioneuvoston asetuksessa vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012 määrätään, että räjähdysvaarallinen ilmanseos ei ylitä 25% alemmasta syttymisrajasta. Jos tilassa työskennellään, on otettava työturvallisuuslain asettamat vaatimukset huomioon. Lisäksi ilmanvaihtoa ja sen riittävyttä on seurattava. Tämä voidaan toteuttaa pitoisuus- tai virtausantureilla. /18./

Räjähdysvaarallisten tilojen ilmanvaihto on suunniteltava ja toteutettava muista tiloista erillisenä järjestelmänä. Raitisilma tilaan on tuotava vaarattomalta alueelta. Ilmanvaihdon suunnittelussa tulee myös huomioida, että tilasta tulee alipaineinen ympäröiviin tiloihin verrattuna. Kemikaalien mahdolliset syövyttävät ominaisuudet tulee huomioida ilmanvaihdon materiaalivalinnoissa. /18./

Ilmanvaihdon määrästä tilassa on myös ohjeellisia arvoja. Nämä ohjeelliset arvot ovat peräisin osittain kumotusta kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksestä 313/1985 /3/. Päätöksessä sanotaan, että kemikaalien käsittelytilan ilman, tulisi vaihtua kolme tai kuusi kertaa tunnissa tilan tilavuuden verran /19/. Tukes eli Turvallisuus- ja kemikaalivirasto ohjeistaa kuusi vaihtoa tunnissa. Vaihtojen määrä kertoo, kuinka monta kertaa huoneen ilmatilavuus vaihtuu aikayksikköä kohti. /3/.

5.2 Päästöjen laimeneminen

Ilmanvaihdon tehokkuutta suhteessa tilan päästöihin voidaan arvioida laimenemisen tehokkuudella. Ilmanvaihdon aikaansaama laimeneminen ei aina

estä kokonaan räjähdysvaarallista ilmaseosta, mutta sillä voidaan lyhentää sen esiintymisaikaa.

Ilmanvaihto ei aina vaikuta laimenemisen tehoon. Jos päästö purkautuu suurella nopeudella, on siihen huomattavasti vaikeampi vaikuttaa ilmanvaihdoilla, kuin matalanopeuksiseen päästöön. Laimeneminen luokitellaan kolmeen tasoon, jotka ovat voimakas, tyydyttävä ja heikko. Laimenemisen tasot on määritetty standardissa EN 60079-10-1, taulukossa 5 esitetyllä tavalla.

Taulukko 5. Laimenemisen tasot /6/

Laimenemisen taso	Selite
Voimakas laimeneminen	Pitoisuus päästölähteen läheisyydessä vähenee nopeasti eikä siitä ole käytännössä mitään jäljellä päästön lakattua.
Tyydyttävä laimeneminen	Pitoisuutta kontrolloidaan niin, että tilaluokan laajuus päästön aikana pysyy vakaana ja jos räjähdyskelpoinen kaasuilmasose ei säily kohtuuttoman kauan päästön lakattua
Heikko laimeneminen	Pitoisuus on merkittävä päästön aikana ja/tai säilyy kohtuuttoman kauan päästön lakattua.

Teoreettiset tilaluokat vaativat käytännössä laimenemistehokkuutta tyydyttävä. Heikko laimeneminen johtaakin tilaluokan tiukentumiseen ja vastaavasti voimakkaalla laimenemisella voidaan tilaluokitusta lieventää. /6./

Laimenemisen arviointi

Laimeneminen perustuu päästön suhteelliseen päästömäärään sekä ilmavirran nopeuteen päästölähteen läheisyydessä. Suhteellinen päästömäärä lasketaan yhtälöllä 3. /6./

$$q' = \frac{q_g}{\rho_g \cdot k \cdot LFL} \quad (3)$$

jossa,	q' = Suhteellinen päästömäärä	[m ³ /s]
	q_g = Kaasun päästömäärä	[kg/s]
	ρ_g = Kaasun tiheys	[kg/m ³]
	k = LFL:n liittyvä varmuuskerroin	[-]
	LFL = Aineen alempi syttymisraja	[til./til.]

Keskimääräinen ilmavirran nopeus tilassa, voidaan arvioida yhtälöllä 4.

$$v = \frac{q}{A_v} \quad (4)$$

jossa,	v = Ilmavirran nopeus	[m/s]
	q = Ilmavirran määrä	[m ³ /s]
	A_v = Virtauksen poikkipinta-ala	[m ²]

Jos suoraan päästölähteeseen on kohdistettu tuloilmavirtaus, voidaan virtausnopeus arvioida päästölähteen läheisyydessä ilmasuihkun nopeudesta. Tuloilmasuihkun tuottamaa suurempaa nopeutta suhteessa poistoilmavirtaukseen voidaan hyödyntää laimenemisen parantamisessa suunniteltaessa tilan ilmanvaihtoa. Poistoilmavirtauksessa virtausnopeus pienenee moninkertaisesti tuloilmavirtausta nopeammin /20/. Ilmavirran nopeuden arvioinnissa voidaan hyödyntää myös virtaussimulointia.

Laimenemista arvioitaessa on huomioitava, että ilman liike hajaannuttaa päästön ympäristöön ja sekoittaa sen tilan muuhun ilmaan. Pelkällä ilman liikkeen lisäämisellä ei kuitenkaan saada hallittua tilan pitoisuuksien nousua.

5.3 Ilmanvaihdon käytettävyys

Ilmanvaihdon käytettävyydellä, eli luotettavuudella, on vaikutuksensa räjähdysvaarallisen ilmaseoksen esiintymiseen. Ilmanvaihdon käytettävyys luokitellaan huonoksi, kohtalaiseksi tai hyväksi. Käytännössä koneellisen ilmanvaihdon käytettävyyden voidaan olettaa olevan aina vähintään kohtalaista. Hyvä käytettävyys tarkoittaa toimintaa ilman toimintakatkoksia. Käytettävyyden arvioinnissa on otettava huomioon laitteiston kaikki mahdolliset huoltokatkokset. Tilan tekeminen vaarattomaksi tilaluokaksi, jolloin tilaluokitus voitaisiin poistaa, edellyttää ilmanvaihdolta aina hyvää käytettävyyttä. /6./

6 RÄJÄHDYSVAARAN ARVIOINTI

Teoreettista tilaluokitusta täydennetään tarkemmalla tilan riskinarvioinnilla. Riskinarvioinnin tekee Atex-tiloista tietämystä omaavien henkilöiden muodostama ryhmä, johon on hyödyllistä kuulua erityisalojen kuten sähkö-, ilmanvaihto- ja mekaniikan alan insinöörejä. Jokaisen alan asiantuntijalla on vahva osaaminen omista järjestelmistä ja tieto niiden mahdollisista riskeistä. /6./

Riskin arvioinnissa arvioidaan todennäköisyyksiä tilassa esiintyvälle räjähdyskelpoiselle ilmaseokselle sekä sen syttymisen todennäköisyydelle. Lisäksi on arvioitava seoksen mahdollisen räjähdysvaikutukset. Riskin arvioinnissa määritellään tarkemmin kaikki tilan mahdolliset riskitekijät ja niiden avulla arvioidaan vaarallinen alue. Riskin arvioinnissa on hyvä huomioida mahdolliset riskin pienentämistoimenpiteet. Ilmanvaihtoalan asiantuntija voi tuoda esille mitä vaikutuksia on ilmanvaihtojärjestelmän tehostamisen mahdollisuudella. /26./

7 ILMANVAIHDON SUUNNITTELU

Ennen ilmanvaihdon suunnittelun aloittamista on selvitettävä tilassa sijaitsevat päästölähteet, päästölähteiden ominaisuudet sekä vuotavien aineiden ominaisuudet. /7./ Ilmanvaihdon suunnittelussa tulee huomioida ilmanpoisto- ja tuloaukkojen sijoitus. Tilassa olevien kaasujen ollessa ilmaa raskaampia on ilma poistettava huoneen alaosaan. Kaasujen tiheys on huomioitava myös poistoilman kanavistossa. Kaasujen tiheyden poiketessa ilman tiheydestä kerääntyvät ne kanaviston ylä- ja alimpiin kohtiin. /18./ Ilmanvaihdon suunnitteluprosessin kulku on esitetty liitteessä 4.

7.1 Ilmavirtojen mitoittaminen

Ilmavirtojen oikealla mitoittamisella ehkäistään räjähdysvaarallisen kaasuilma-seoksen syntyä sekä pyritään minimoimaan sen vaikutusaika. Standardissa EN 60079-10-1 on esitetty yhtälö 5, jolla lasketaan teoreettinen vähimmäismäärä tilan tuloilmavirralle. /6./

$$q_{i,t,min} = \frac{G}{k \cdot LFL_m} \cdot \frac{T_a}{293} \quad (5)$$

jossa,

$q_{i,t,min}$ = Tuloilmavirran teoreettinen

vähimmäismäärä [m³/s]

G = Tilan epäpuhtauden tuotto [g/s]

k = Alempaan syttymisrajaan liittyvä

varmuuskerroin ($\leq 1,0$) [-]

LFL_m = Alempi syttymisraja [g/m³]

T_a = Ympäristön lämpötila [K]

Kaikista räjähdysvaarallisista aineista ei ole valmiina tietoa massaperusteisesta alemmasta syttymisrajasta LFL_m . Se saadaan laskettua, kun tiedetään tilavuusperusteinen alempisyttymisraja LFL_v yhtälöllä 6. /9./

$$LFL_m = \frac{M \cdot P_a}{R \cdot T_a} \cdot \frac{LFL_v}{100 - LFL_v} \quad (6)$$

jossa,	LFL_m = Massaperusteinen alempi	
	syttymisraja	[kg/m ³]
	LFL_v = Tilavuusperusteinen alempi	
	syttymisraja	[til./%]
	M = Aineen moolimassa	[kg/kmol]
	P_a = Normaali ilmanpaine	[Pa]
	T_a = Ympäristön lämpötila	[K]
	R = Yleinen kaasuvakio	[J/kmol, K]

Ilmanvaihtoalalla on käytetty ilmavirran mitoitusyhtälönä epäpuhtauksien perusteella yhtälöä 7, kun ulkoilman pitoisuus on nolla /20/.

$$q_{i,t} = \frac{G}{C} \quad (7)$$

jossa,	$q_{i,t}$ = Tuloilmavirta	[m ³ /s]
	G = Tilan epäpuhtauden tuotto	[g/s]
	C = Pitoisuuden tavoitearvo	[g/m ³]

Yhtälöä 5 ja 7 verratessa huomataan, että yhtälö 7 on sama kuin yhtälö 5. Standardissa esitettyä yhtälöä 5 on painotettu lämpötilalla. Painotuksen seurauksena ilmavirta pienenee tilanteessa, jossa lämpötila on alle 20 °C ja toisaalta nousee lämpötilan ollessa yli 20 °C. Lämpötilan vaikutus ilmavirtaan on hyvä ottaa huomioon. Yhtälössä 5 pitoisuuden tavoitearvona on käytetty alemmaa räjähdysrajaa.

Tarvittava tuloilmavirta saadaan jakamalla tilan koko päästömäärä tavoitearvolla. Oikean tavoitearvon valinta on ilmanvaihtosuunnittelijan tärkeimpiä teh-

täviä. Vaatimusten mukaisesti pitoisuus ei saa nousta tilassa yli 25% alemmasta syttymisrajasta. Tilan taustapitoisuudenkin ollessa alle vaatimusten voimassa esiintyä räjähdysvaarallinen ilmaseos päästölähteen läheisyydessä. Tämä johtuu siitä, että tilan ilma ei ole aina täysin sekoittunutta.

7.2 Tasapainotilanne

Tasapainotilanteessa tietyllä päästö määrällä suhteessa ilmanvaihdon ilmavirtaan saavutetaan pitoisuus, joka ei muutu ajasta riippuvana. Tasapainotilannetta tarkasteltaessa tilan koolla ei ole merkitystä pitoisuuteen. Tilan taustapitoisuus tasapainotilanteessa voidaan johtaa yhtälöstä 7. /20./

$$C_t = \frac{G}{q_{i,t}} \quad (8)$$

jossa,	C_t = Tilan taustapitoisuus	[g/m ³]
	$q_{i,t}$ = Tuloilmavirta	[m ³ /s]
	G = Tilan epäpuhtauden tuotto	[g/s]

Koska tilojen ilmanvaihto ei ole aina täysin sekoittunutta pienennetään tuloilmavirtaa jakamalla se kertoimella f , joka kuvaa kuinka sekoittunutta ilma voi olla. Taustapitoisuus saadaan yhtälöstä: /21./

$$C_t = \frac{f \cdot G}{q_{i,t}} \quad (9)$$

jossa,	C_t = Tilan taustapitoisuus	[g/m ³]
	f = Kerroin ilman sekoittumiselle	[-]
	$q_{i,t}$ = Tuloilmavirta	[m ³ /s]
	G = Tilan epäpuhtauden tuotto	[g/s]

Kertoimella f on suuri vaikutus tilan taustapitoisuuteen, joten se tulee valita huolella. Kerrointa f valitessa tulee tuntee ilmasuihkujen käyttäytyminen ja pyörteisyys huonetilassa. Ohjeellisia f kertoimia on annettu myös alan kirjallisuudessa, joita voi hyödyntää arvioitaessa ilmavirran sekoittumista tilassa.

/21./

7.3 Aikariippuva tilanne

Suureen tilavuuteen mahtuu enemmän epäpuhtauksia kuin pieneen tilavuuteen. Päästön alettua tilan pitoisuus kohoaa isommassa tilassa hitaammin, kuin vastaava päästö pienemmässä tilassa. Kun pitoisuuden muutosta tarkastellaan aikariippuvana, tasapainotilanteesta poiketen Atex-tilan tilavuudella on tällöin suuri merkitys pitoisuuden nousuun tilassa. /20./

Tarkasteltaessa pitoisuuden kehittymistä ajasta riippuvaisena määritetään tilalle ilmanvaihtokerroin. Ilmanvaihtokerroin kertoo, kuinka monta kertaa tilan ilma vaihtuu aikayksikössä. Ilmanvaihtokerroin ilmoitetaan usein yksikössä vaihtoa tunnissa. /20./

$$n = \frac{q}{V_0} \quad (10)$$

jossa,	n = Ilmanvaihtokerroin	[1/h]
	q = Tilan ilmavirta	[m ³ /h]
	V ₀ = Tilan tilavuus	[m ³]

Ilmanvaihdolle ilmoitetaan myös aikavakio, joka on aika, jossa tilan ilmamäärä vaihtuu kertaalleen.

$$t = \frac{1}{n} \quad (11)$$

jossa,	t = Ilmanvaihdon aikavakio	[h]
	n = ilmanvaihtokerroin	[1/h]

Pitoisuus nousee päästön alettua yhtälön 12 mukaan eksponentiaalisesti saavuttaen lopulta tasapainotilanteen /20/.

$$C_{(t)} = C_0 e^{-nxt} + C_\infty \cdot (1 - e^{-nxt}) \quad (12)$$

jossa,	C _(t) = Aineen pitoisuus ilmassa ajan t kuluttua.	[g/m ³]
--------	---	---------------------

C_0 = Aineen alkupitoisuus ilmassa	[g/m ³]
n = Ilmanvaihtokerroin	[1/s]
t = Ilmanvaihdon aikavakio	[s]
x = Aikavakioiden määrä ajassa t	[-]
C_∞ = Pitoisuus tasapainotilanteessa	[g/m ³]

Päästön loputtua aineen pitoisuus ilmassa laskee yhtälön 13 mukaan saavut-
taen lopulta alkupitoisuuden, joka tyypillisesti räjähdysvaarallisille aineille on 0
/22/.

$$C_t = C_0 e^{-nxt} \quad (13)$$

jossa,	C_t = Aineen pitoisuus ilmassa ajan t kuluttua.	[g/m ³]
	C_0 = Aineen alkupitoisuus ilmassa	[g/m ³]
	n = Ilmanvaihtokerroin	[1/s]
	t = Ilmanvaihdon aikavakio	[s]
	x = Aikavakioiden määrä ajassa t	[-]

Yhtälöillä 12 ja 13 arvioidaan tilan ilman ainepitoisuutta ilmassa päästön alka-
misen tai loppumisen jälkeen. Yhtälöiden avulla voidaan havainnollistaa ilman-
vaihdon vaikutuksia päästöihin ajasta riippuvana sekä päästön vaihdellessa.

Yhtälöllä 14 lasketaan teoreettinen aika, jossa taustapitoisuus laimenee alle
vertailupitoisuuden. Vertailupitoisuutena C_{crit} käytetään yleensä voimassa ole-
van asetuksen vaatimaa arvoa. Valtioneuvoston asetus 856/2012 vaatii pitoi-
suuden arvoksi 25 % alemmasta syttymisrajasta. /18./

$$t_d = \frac{1}{n} \cdot \ln \left(\frac{C_t}{C_{crit}} \right) \quad (14)$$

jossa,	t_d = Laimenemiseen kuluva aika.	[s]
	n = Ilmanvaihtokerroin	[1/s]
	C_t = Tilan taustapitoisuus	[g/m ³]
	C_{crit} = Kriittinen taustapitoisuus	[g/m ³]

8 CASE KOHDE

Työssä case-esimerkkinä on tärpätin pumppaushuoneen ilmanvaihto. Esimerkkikohdetta käytettiin apuna mitoitettaessa ilmanvaihtoa eri näkökulmista niin ohjeellisilla ilmanvaihtokertoimilla kuin asetusten antamilla vaatimuseroilla. Tuloksia vertailtiin ja analysoitiin aikariippuvana suhteessa päästöön. Laskuissa käytetyt lähtöarvot ja kaikki tarkat laskutoimitukset on esitetty tämän työn liitteissä. Tärpätin ominaisuudet ja tavoitearvot on poimittu alan kirjallisuudesta ja standardeista /9; 24; 25/.

8.1 Tilan päästö määrän laskeminen

Tilaan tulevat päästöt ovat tärpättiä pumppaavan pumpun ja sen varusteiden tiivisteistä syntyviä nestevuotoja, joista osa höyrystyy tärpättikaasuna ilmaan. Nesteenä maahan vuotavan tärpätin massavirta saadaan yhtälöllä 1. Standardissa EN 60079-10-1 päästöaukon suuruudeksi on ohjeistettu 1-5 mm². Arvot ovat tyypillisiä, kun aukon koko voi kasvaa korroosion tai muun vastaavan syyn seurauksena. Nestepäästön määrä arvioitiin päästöaukon suuruudella 5 mm², jotta vältetään liian pieni nestepäästö määrä. /6./

$$q_m = 0,75 * 5 * 10^{-6} \sqrt{2 * 870 * 210\,000} = 0,0717 \frac{kg}{s} = 71,7 \text{ g/s}$$

Tilavuusvirta tärpätin nestepäästölle on tärpättinesteen tiheyden ollessa 870 kg/m³.

$$q_{v,t} = \frac{0,0717 \frac{kg}{s}}{870 \frac{kg}{m^3}} = 8,241 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 0,08 \text{ dm}^3/s$$

Vertailuna tärpättipumpun mitoitusvirtaama 10 l/s, jolloin nestevuoto prosentuaalisesti on noin 0,8 %.

Ilmaan kaasuksi höyrystyvän nesteen määrä voidaan olettaa olevan standardin EN 60079-10-1 esimerkkien mukaisesti 2 % maahan vuotavasta nesteestä. Loppu neste valuu viemäriin.

$$q_g = 0,0717 \frac{kg}{s} * 0,02 = 1,434 * 10^{-3} \frac{kg}{s} = 1,4 \text{ g/s}$$

Kaasupäästön tilavuusvirtaa varten tarvitaan tärpähti kaasun tiheys. Lasketaan tärpähti kaasulle tiheys +20 °C lämpötilassa yhtälöllä 2.

$$\rho_g = \frac{136 \frac{kg}{kmol} * 101\,300 \text{ Pa}}{8314 \frac{J}{kmol K} * 293 \text{ K}} = 5,7 \text{ kg/m}^3$$

Tilavuusvirraksi ilmaan höyrystyvälle tärpättikaasulle saadaan:

$$q_{g,t} = \frac{1,434 * 10^{-3} \frac{kg}{s}}{5,7 \frac{kg}{m^3}} = 2,516 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 0,25 \text{ dm}^3/\text{s}$$

8.2 Ilmavirran määrä

Ilmavirta mitoitettiin kohteeseen kolmella eri tavalla, jotta tuloksia voidaan vertailla. Ilmavirran määrää kohteessa tarkasteltiin ohjeellisella ilmanvaihtokertoimella kuusi, standardin ohjeistamalla minimi-ilmavirralla sekä käyttämällä pitoisuuden tavoitearvona asetuksessa määrättyä 25 % kaasun alemmasta räjähdysrajasta. Ilmavirrat mitoitettiin koneellisella poistoilmanvaihdolla sekä koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Mitoituksen kulku on esitetty, kun mitoitustavuste on asetuksen antama tavoitearvo 25 % alemmasta räjähdysrajasta. Tarkemmat laskutoimitukset muista mitoitustavoista on esitetty tämän työn liitteissä 3 ja 4.

Massaperusteinen alempi räjähdysraja LFL_m tärpähtille on:

$$LFL_m = \frac{136 \frac{kg}{kmol} * 101\,300 \text{ Pa}}{8314 \frac{J}{kmol K} * 293 \text{ K}} * \frac{0,8}{100 - 0,8} = 0,0456 \frac{kg}{m^3} = 45,6 \frac{g}{m^3}$$

Ilmavirta käyttämällä tavoitearvoa 25 % alemmasta räjähdysrajasta on:

$$q_{i,t} = \frac{1,4 \frac{g}{s}}{0,25 * 45,6 \frac{g}{m^3}} = 0,123 \frac{m^3}{s} = 123 \frac{dm^3}{s}$$

Ilmanvaihtokerroin saadulla ilmavirralla on:

$$n = \frac{0,123 \frac{m^3}{s} * 3600}{26,8 m^3} = 17 \frac{1}{h}$$

Ilmanvaihdon aikavakio on:

$$t = \frac{1}{17} = 0,06 h = 3,6 min$$

8.3 Taustapitoisuus tasapainotilanteessa

Ilmanvaihdon vaikutusten arvioimiseksi lasketaan tilalle taustapitoisuus yhtälöllä 9. Jotta taustapitoisuus voitiin laskea tuli valita ilmanvaihdolle f-kerroin kuvaamaan, kuinka sekoittunutta ilma tilassa on. Kerroin f valittiin kirjallisuudessa esitettyjä arvoja soveltamalla /21/. Tilan ilmatilavuus ei ole pelkän poistoilmapuhaltimen aikaansaaman ilmavirtauksen avulla täysin sekoittunutta. suurin osa ilmaa raskaammasta tärpättikaasusta kerääntyy lähelle tilan lattia-tasoa. Taustapitoisuutta laskettiin käyttämällä f-kertoimena arvoa 2.

$$C_t = \frac{2 \cdot 1,4 \frac{g}{s}}{0,123 \frac{m^3}{s}} = 22,8 \frac{g}{m^3}$$

8.4 Pitoisuuden muutos aikariippuvana

Päästön alettua tilan taustapitoisuus lähtee nousuun yhtälön 12 mukaisesti. Arvioidaan aika, jossa tilan taustapitoisuus saavuttaa tasapainotilanteen. Pitoisuuden muutos lasketaan jokaiselle ilmanvaihdon aikavakioiden määrälle erikseen. Seuraavana on esitetty esimerkkilaskelma tilan taustapitoisuuden noususta viiden ilmanvaihdon aikavakion eli 18 minuutin kuluttua päästön alkamisesta, kun taustapitoisuus C_t on pitoisuus tasapainotilanteessa C_∞ .

$$C_{(t)} = 0 * e^{-17*5*0,06} + 22,8 * (1 - e^{-17*5*0,06}) = 22,66 \frac{g}{m^3}$$

Päästön loputtua taustapitoisuus pienenee yhtälön 13 mukaisesti. Esi-
merkki laskelma taustapitoisuuden laimenemisestä on esitetty viiden ilman-
vaihdon aikavakion kuluttamalle ajalle eli ilmanvaihtokertoimella 17 noin 18
minuuttia. Taustapitoisuus viiden ilmanvaihdon aikavakion kuluttua päästön
loppumisesta on:

$$C_{(t)} = 22,8 * e^{-17*5*0,06} = 0,14 \frac{g}{m^3}$$

8.5 Laimenemisen arviointi

Ilmanvaihdon vaikutuksesta päästölähteeseen arvioidaan tilassa tapahtuvaa
laimenemista. Laimenemisen määrittämiseksi arvioidaan ilmavirran nopeus
päästölähteen lähellä ja lasketaan päästölle suhteellinen päästö määrä. Ko-
neellisella poistoilmanvaihdon järjestelmällä ilmavirran nopeus voidaan arvi-
oida käyttäen ilmavirran virtauspinta-alana huoneen poikkipinta-alaa.

$$v = \frac{0,123 \frac{m^3}{s}}{(3,85 \cdot 2,3)m^2} = 0,014 \frac{m}{s}$$

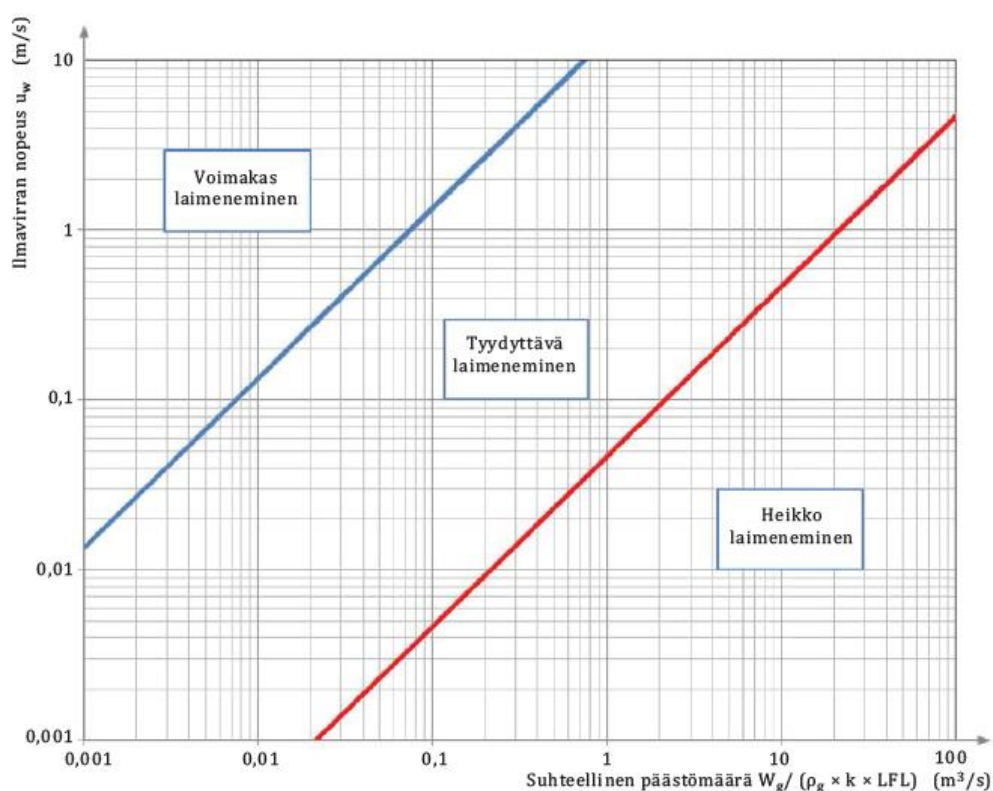
Tilan suhteellinen päästö määrä lasketaan yhtälöllä 3.

$$q' = \frac{1,434 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{s}}{5,7 \frac{kg}{m^3} \cdot 1 \cdot 0,008} = 0,03 \frac{m^3}{s}$$

Standardissa EN 60079-10-1 esitetystä laimenemisen arviointiin tarkoitetusta
kaaviosta kuvassa 3 voidaan lasketuilla virtausnopeuden ja suhteellisen pääs-
tö määrän arvojen leikkauskohdassa todeta laimenemisen olevan tyydyttävää.

Käytännössä voidaan olettaa, että ilmavirran nopeus on kuitenkin päästöläh-
teen läheisyydessä suurempi. Yksi syy tähän on puhaltimen läheisyys päästö-
lähteeseen nähden. Ilmavirran nopeus puhaltimen imuaukossa on noin 4 m/s
ja raitisilma-aukossa noin 2 m/s, käytännössä voidaan olettaa ilmavirran saa-

vuttavan päästölähteen läheisyydessä vähintään nopeuden 0,1 m/s. Virtausnopeuden 0,1 m/s ja lasketun suhteellisen päästö määrän arvojen leikkauskohdassa kuvassa 3 laimeneminen on myös tyydyttävää. Suurempaa ilmavirran nopeutta ei pystytä luotettavasti todentamaan, joten arvioidaan laimeneminen lasketuilla arvoilla. Toisaalta taustapitoisuuden ollessa yli kriittisen pitoisuuden eli asetuksen 856/2012 määrittämän 25 % alemmasta räjähdysrajasta ei laimeneminen voi olla hyvää, jolloin ei ole tarpeellista tarkastella kaaviota.



Kuva 3. Laimenemisen arviointi standardin EN 60079-10-1 mukaan /6/

9 TULOKSET

Päästö määrät

Päästö määrät laskettiin nestepäästön purkausaukon pinta-alalla $S = 5 \text{ mm}^2$. Nestepäästöstä syntyvä kaasupäästö tilaan arvioitiin olevan 2 % vuotavan nesteen massavirrasta. Päästö määrät taulukossa 6, jossa ne on esitetty erikseen neste- ja kaasupäästölle.

Taulukko 6. Tilan neste- ja kaasupäästömäärät

Päästömäärät			
	[g/s]	[l/s]	[l/min]
Nesteen päästö määrä	72	0,08	4,8
Kaasun päästö määrä	1,4	0,25	15
Suhteellinen päästö määrä	0,03 m ³ /s		

Ilmanvaihtomäärät

Tilaan tarvittavat ilmavirrat arvioitiin koneellisella poistoilmajärjestelmällä sekä tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmällä. Tarvittavat ilmavirrat, taustapitoisuus ja laimenemiseen kuluva aika päästön loputtua on esitetty taulukoissa 7 ja 8.

Taulukossa 6 1/h tarkoittaa mitoitusperusteena käytettyä ohjeellisen ilmanvaihtokertoimen arvoa kuusi vaihtoa tunnissa. Mitoitusperusteella $q_{i,t,min}$ ilmavirraksi saadaan teoreettinen minimi-ilmavirta, jolla tilassa syntyvä päästö laimenee alle alemman räjähdysrajan. Käyttämällä mitoitusperustetta 25 %*LFL ilmavirta on mitoitettu käyttämällä pitoisuuden tavoitearvona 25 % alemmasta räjähdysrajasta.

Taulukko 7. Koneellinen poistoilmavaihto

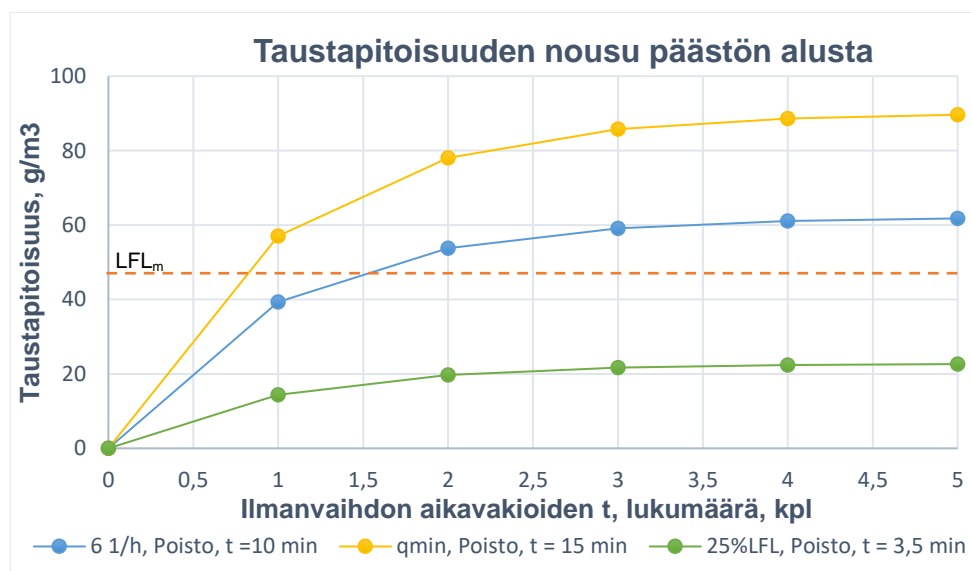
Ilmavirrat			
Mitoitusperuste	6 1/h	$q_{i,t,min}$	25% * LFL
Ilmavirta, [l/s]	45	31	123
Ilmanvaihtokerroin, [1/h]	6	4	17
Taustapitoisuus, [g/m ³]	62,2	90,3	22,8
Laimenemisen aika C_{crit} alapuolelle, [min]	16,8	31,2	2,4

Taulukko 8. Koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto

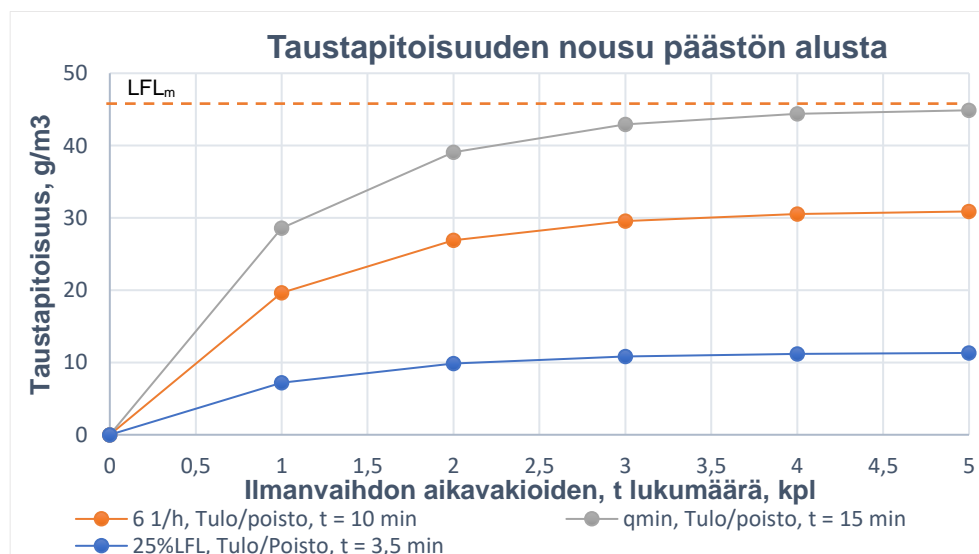
Ilmavirrat			
Mitoitusperuste	6 1/h	$q_{i,t,min}$	25% * LFL
Ilmavirta, [l/s]	45	31	123
Ilmanvaihtokerroin, [1/h]	6	4	17
Taustapitoisuus, [g/m ³]	31,1	45,2	11,4
Laimenemisen aika C_{crit} alapuolelle, [min]	9,6	21,0	0

Pitoisuuksien muutos

Taustapitoisuuden muutos aikariippuvana päästön alkaessa on esitetty kuvissa 4 ja 5 sekä päästön loppuessa kuvissa 6 ja 7. Kuvissa vaaka- eli x-akselilla on ilmanvaihdon aikavakioiden lukumäärä. Tuloksia lukiessa tulee huomioida, että ilmanvaihdon aikavakiot ovat tilanteissa erisuuruiset. Ilmanvaihtokertoimella kuusi on yhden aikavakion suuruus 10 minuuttia, ilmanvaihtokertoimella neljä noin 15 minuuttia ja ilmanvaihtokertoimella 17 yhden aikavakion suuruus on noin 3,5 minuuttia. Pitoisuuden muutokseen kulunut aika kussakin tilanteessa saadaan kertomalla x-akselilla oleva aikavakioiden määrä yhden aikavakion suuruudella.

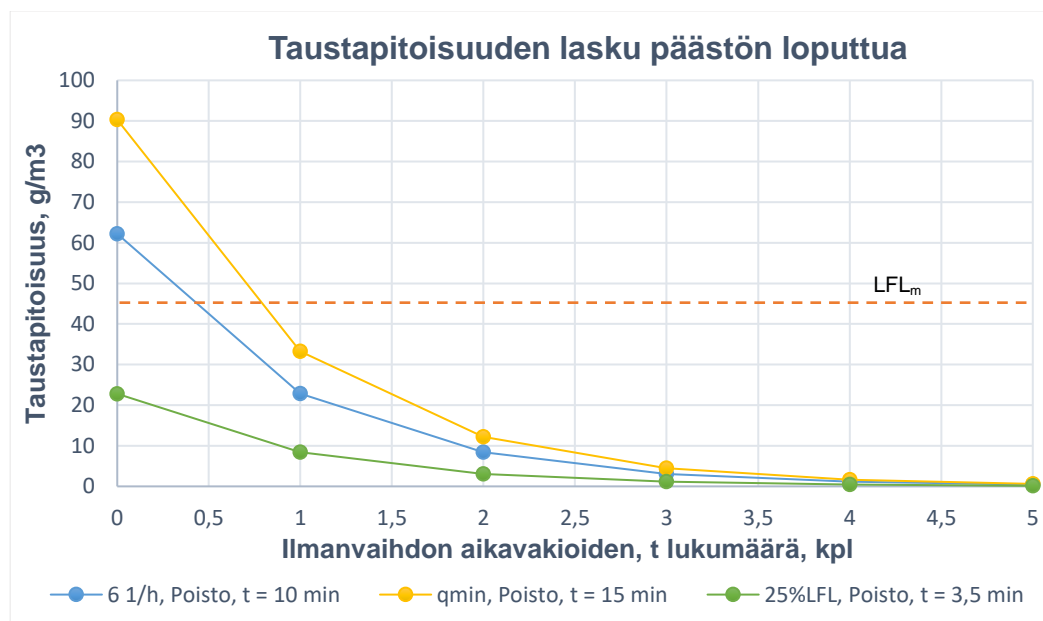


Kuva 4. Pitoisuuden nousu päästön alettua poistoilmavaihtojärjestelmällä.

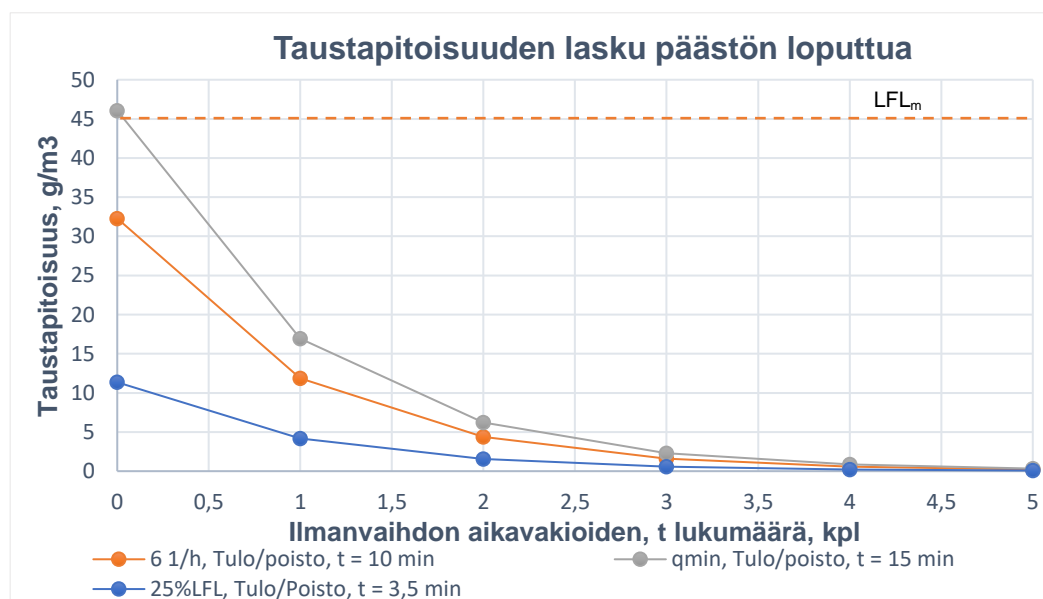


Kuva 5. Pitoisuuden nousu päästön alettua tulo-/poistoilmavaihtojärjestelmällä.

Kuvista 4 ja 5 huomataan, että kussakin tilanteessa vallitseva pitoisuuden tasapainotilanne saavutetaan noin viiden ilmanvaihdon aikavakion kuluttua riippumatta ilmanvaihtokertoimesta tai ilmanvaihtojärjestelmästä. Tasapainotilanteen saavuttamiseen kulunut aika kuitenkin riippuu yhden ilmanvaihdon aikavakion suuruudesta. Taustapitoisuuden nousukulman jyrkkyys puolestaan riippuu saavutettavasta tasapainotilanteesta, johon vaikuttaa ilmapirran määrä ja tilan ilmatilavuuden sekoittumista kuvaava kerroin f .



Kuva 6. Pitoisuuden lasku päästön loputtua poistoilmanvaihtojärjestelmällä.



Kuva 7. Pitoisuuden lasku päästön loputtua tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmällä.

Päästön loputtua taustapitoisuus laskee lopulta räjähdysvaarallisilla kaasuilla tyypillisesti arvoon nolla. Päästön alettua pitoisuuden tasapainotilanne saavutettiin noin viiden aikavakion kuluttua. Kuvista 6 ja 7 huomataan, että päästön loputtua taustapitoisuus saavuttaa räjähdysvaarallisilla kaasuilla arvon nolla myös noin viiden aikavakion kuluttua. Tilanteissa tulee huomioida, että viiden aikavakion kuluttama aika on tapauksissa toisistaan poikkeavat riippuen yhden ilmanvaihdon aikavakion suuruudesta.

10 TULOSTEN TARKASTELU

Ilmanvaihto

Koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmässä taustapitoisuus pysyy päästön aikana alle alemman räjähdysrajan ainoastaan, kun mitoitusperusteena on käytetty tavoitearvoa 25 % alemmasta räjähdysrajasta. Tässäkään tapauksessa tasapainotilanteessa pitoisuus ei ole alle kriittisen pitoisuuden eli 25 % alemmasta räjähdysrajasta. Tämä johtuu ilman sekoittumista kuvaavasta kertoimesta f . Koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmässä tilan ilmatilavuus ei ole niin sekoittunutta, että voitaisiin käyttää f kertoimena arvoa 1.

Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla ohjeellisella ilmanvaihtokertoimella 6 vaihtoa tunnissa taustapitoisuus ei nouse yli alemman räjähdysrajan, mutta taustapitoisuus ei kuitenkaan alita kriittistä tarkastelu pitoisuutta 25 % alemmasta räjähdysrajasta. Alle kriittisen taustapitoisuuden päästään ainoastaan koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdon järjestelmällä käyttämällä tavoitearvona kriittistä taustapitoisuutta.

Kuvassa 3 luvussa 8.5 laimenemista arvioidaan virtausnopeuden perusteella. Tuloilmapuhaltimella voidaan virtausnopeutta kasvattaa saavuttaakseen kaasun hajaantuminen nopeasti ympäröivään tilaan. Jos laimeneminen arvioidaan suoraan virtausnopeuden perusteella arvioimatta taustapitoisuutta, antaa se todellisuutta positiivisempia tuloksia. Laimenemista ei voida luokitella kuvan 3 mukaisesti hyväksi pelkän ilman virtausnopeuden perusteella taustapitoisuuden ollessa yli kriittisenpitoisuuden. Taustapitoisuutta tulisikin tarkastella ensisijaisesti ilmanvaihdon aikaansaaman laimenemisen arvioinnissa. Päästön ol-

lessa niin lyhytkestoista, että tasapainotilannetta ei saavuteta, antaa aikariippuva tarkastelu hyvän analyysin siitä, mikä pitoisuuden arvo saavutetaan mil-läkin ilmanvaihtokertoimella.

Päästö määrä

Tilan päästö määrällä on suurin vaikutus tilassa tarvittavaan ilmavirtaan. Nestepäästön laskennalliseen suuruuteen voidaan vaikuttaa tarkastelemalla päästöaukon kokoa. Päästöaukon kooksi valttiin laskennassa 5 mm². Tällä päästöaukon koolla tärpättiä vuotaa putkistosta noin 0,08 l/s. Tämä tarkoittaa 4,8 l/min. Vertailun vuoksi tavanomaisen suihkuhanan virtaama on 12 l/min ja vettä säästävempien mallien virtaamat ovat noin 7 l/min /25/. Päästö määrän arviointi tuleekin tehdä realistisesti ja arvioida lasketun päästö määrän oikeellisuutta ennen ilmavirtojen mitoittamisen aloittamista.

Muuttujien tarkastelu

Nestepäästön lähteenä olevan reikäkoon pienentyessä 5 mm²:stä 1 mm² pienenee nestepäästö määrä samassa suhteessa. Tulokseksi saatu nestepäästö määrä 0,08 l/s pienenee siis viidesosaan.

$$q_{v,t} = \frac{1}{5} \cdot 0,08 \frac{l}{s} = 0,016 \frac{l}{s} = 0,96 \frac{l}{min}$$

Päästö määräksi reikäkoolla 1 mm² saatu tulos on lähempänä todellista mitoitustilannetta kuin reikäkoolla 5 mm² laskettu päästö määrä. Koska nestepäästö määrästä arvioidaan prosenttiluvulla kaasupäästö määrä, vaikuttaa päästö määrän pieneminen samassa suhteessa tarvittavaan ilmanvaihtomäärään ja näin ollen pienentää taustapitoisuuden arvoa ilmavirran pysyessä samana.

Koneellisella poistoilmanvaihdoilla taustapitoisuuden arvo oli 62,2 g/m³, kun mitoitustilanteena käytettiin ohjeellista ilmanvaihtokerrointa kuusi vaihtoa tunnissa. Ilmavirran 45 l/s pysyessä samana pienenee taustapitoisuus päästön pienentyessä viidesosaan seuraavasti:

$$C_t = \frac{1}{5} \cdot 62,2 \frac{g}{m^3} = 12,44 \frac{g}{m^3}$$

Pienemmällä päästö määrällä jo ilmanvaihtokertoimella kuusi saavutettaisiin lähes asetuksen asettama tavoitearvo 25 % alemmasta räjähdysrajasta, joka

on $11,4 \text{ g/m}^3$. Käytännössä voidaan todeta päästön pysyvän sellaisella tasolla, että ohjeellisella ilmanvaihtokertoimella saavutetaan kohteessa asetuksen asettama pitoisuuden tavoitearvo.

Koneellisella poistoilmanvaihdolla ilmanvaihtokertoimella kuusi vaihtoa tunnissa havaitaan kuvasta 4, että taustapitoisuus saavuttaa lasketulla päästömäärällä arvon 40 g/m^3 jo yhden aikavakion eli 10 minuutin kuluttua päästön alkamisesta. Alemman räjähdysrajan ollessa $45,6 \text{ g/m}^3$ ollaan jo nopeasti päästön alkamisesta lähellä räjähdysvaarallista ilmaseosta.

Ilmanvaihdon ilmapirran sekä päästömäärän pysyessä samana kaksi kertaa suuremmassa tilassa pysyy myös pitoisuus tasapainotilanteessa samana. Tilan ilmanvaihtokerroin kuusi vaihtoa tunnissa kuitenkin putoaa arvoon kolme vaihtoa tunnissa. Tilan ilmatilavuus vaihtuu tällöin kerran 20 minuutin aikana. Ilmanvaihtokertoimella kolme taustapitoisuus saavuttaa saman arvon yhden aikavakion kuluttua, kuin ilmanvaihtokertoimella kuusi. Tilanteessa on kuitenkin huomioitava, että aika saman pitoisuuden saavuttamiseen kaksinkertaistuu. Aikariippuvaa arviointia voidaankin hyödyntää oletettaessa päästön olevan lyhyttä tai se havaitaan tilassa nopeasti.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lasketulla päästömäärällä vaaditaan tulo- ja poistoilma järjestelmältä ilmanvaihtokerroin 17, jotta ilmanvaihdolle asetettuihin pitoisuusvaatimuksiin päästään. Tarvittava ilmanvaihtokerroin on lähes kolme kertaa suurempi kuin ohjeellinen ilmanvaihtokerroin kuusi vaihtoa tunnissa. Toisaalta teoreettisesti pienimmän tarvittavan tuloilmavirtauksen määrä on ohjeellista ilmanvaihtokerointa kuusi pienempi, jolloin voidaan todeta ilmanvaihtokertoimella kuusi tapahtuvan ainakin kohtalaista laimenemista lasketulla päästömäärällä.

Yhtälöllä 1 laskettu päästömäärä huomattiin tarkastellessa todella suureksi. Tämä aiheuttaa tarvittavien ilmavirtojen nousun suureksi. Päästömäärien arvioinnissa ei saa käyttää liikaa varovaisuutta. Päästömäärien arviointi tulee tehdä kriittisesti ja totuudenmukaisesti, jotta päästöt vastaisivat normaalitilan-

netta. Tällöin laskennalliset ilmavirrat ja pitoisuudet eivät nouse poikkeuksellisen suuriksi. Laskettu päästömäärä ja sen realistisuus tulee arvioida ennen, kuin ryhdytään mitoittamaan tilan ilmanvaihtoa.

Tulosten tarkastelun perusteella ilmanvaihtokerroin kuusi on suuntaa antava ilmanvaihdon määrä kaasuräjähdyksivaarallisiin tiloihin. Ohjeellisella ilmanvaihtokertoimella ja koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä saavutetaankin case-esimerkissä todenmukaisella päästöllä asetuksen vaatima pitoisuuden taso. Räjähdyksivaarallisissa tiloissa on kuitenkin hyvä tarkastella ilmanvaihdon määrää päästömäärien ja tasapainotilanteessa vallitsevien taustapitoisuuksien perusteella. Näin varmistutaan ilmanvaihdon riittävydestä. Lisäksi päästöjen vertailu ja analysointi antaa työkaluja räjähdysvaarallisen ilmaseoksen esiintymistiheyden arviointiin. Arviointia on hyvä suorittaa myös aikariippuvana, jos päästö ei ole pitkäkestoista tai jatkuvaa, jolloin tasapainotilannetta ei aina saavuteta.

Tilan päästömäärien vaihdellessa kohteessa runsaasti on suunnittelussa otettava huomioon mahdollinen tarpeenmukainen ilmanvaihto välttämään tarpeetoman suuret jatkuvat ilmavirrat. Case-esimerkissä tärpättipumppu käy lähtötietojen perusteella noin 150 tuntia vuodessa. Mikäli halutaan varautua tilassa suurempaan, jopa laskettuun päästömäärään, on tarpeenmukaista suunnitella ilmanvaihdon toiminta tarpeenmukaisesti. Tarpeenmukainen ilmanvaihto voidaan toteuttaa muun muassa tilan taustapitoisuutta mittaamalla ja taustapitoisuuden noustessa yli asetusarvon tehostetaan ilmanvaihdon määrää.

12 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutustuttiin räjähdysvaarallisiin tiloihin ja niiden turvallisuuteen. Ilmanvaihdon vaikutuksia ja sille asetettuja vaatimuksia tarkasteltiin kaasuräjähdyksivaarallisissa tiloissa. Kaasuräjähdyksivaarallisen tilan ilmavirtojen mitoittamista vertailtiin ohjeellisen ilmanvaihtokertoimen ja päästökuorman perusteella mitoittamisen välillä. Ilmavirtojen riittävyttä tarkasteltiin pitoisuuden nousun avulla.

Vaikka case-esimerkissä koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä, joka on mitoitettu ohjeellisella ilmanvaihtokertoimella, saavutetaankin asetuksen vaatima pitoisuuden taso todenmukaisella päästömäärällä, on ilmanvaihtoa tulosten perusteella hyvä arvioida myös päästöjen näkökulmasta ja tarkastella, kuinka suuren päästön tilan ilmanvaihto pystyy laimentamaan turvalliselle tasolle.

Työn perusteella ilmanvaihdosta kaasuräjähdysvaarallisissa tiloissa ei pysty antamaan yhtä oikeaa toteutustapaa, vaan suunnittelussa pitää huomioida useat lopputulokseen vaikuttavat tekijät. Työn perusteella voidaan todeta, että ilmanvaihdon mitoittamiseen käytettävä päästömäärä on arvioitava huolellisesti ja sen perusteella pitoisuuden tavoitearvo valittava tarkkaan, jotta saavutetaan turvallinen lopputulos.

LÄHTEET

1. Tukes. Räjähdysvaaralliset tilat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat>. [viitattu 17.2.2020].
2. KOM. Euroopan yhteisöjen komissio. Komission tiedonanto KOM(2003) 515. Ohjeellinen toimintaopas vähimmäisvaatimuksista räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelun parantamiseksi annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 1999/92/EY täytäntöönpanemiseksi. 2003.
3. Pietikäinen, S., Kurvinen, J. & Salomäki, S. ATEX -koulutus palotarkastajille. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://dreambroker.com/channel/ysv6z4vk/vtt6hytp> [viitattu 3.3.2020].
4. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 1999/92/EY. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti, L23. 2000.
5. Tukes. 2017. ATEX-starttipaketti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/8293726/ATEX-starttipaketti-2017.pdf/b440ed57-218e-4eda-a5b9-42df468e0b5f/ATEX-starttipaketti-2017.pdf>. [viitattu: 16.2.2020].
6. SFS-EN 60079-10-1. Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 10-1: Tilaluokitus. Kaasuräjähdysvaaralliset tilat. 2015.
7. SFS-Käsikirja 59. Räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut. 5. painos. 2012.
8. SFS-EN 60079-10-2. Räjähdysvaaralliset tilat osa 10-2, Tilaluokitus. Pölyräjähdysvaaralliset tilat. 2015.
9. SFS-EN ISO 80079-20-1:en. Explosive atmospheres - Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification - Test methods and data. 2019.
10. TUKES. Räjähdysvaarallisten tilojen laitteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/teollisuus/rajahdysvaaralliset-tilat/rajahdysvaarallisten-tilojen-laitteet-atex> [viitattu 29.2. 2020].

11. Laki räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta. 1139/2016.
12. Valtioneuvoston asetus räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta 1439/2016.
13. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/34/EU. Euroopan unionin virallinen lehti, L96. 2014.
14. SFS-EN IEC 60079-0. Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 0: Laitteet. Yleiset vaatimukset. 2019.
15. SFS-EN 60079-14. Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. 2015.
16. SFS-EN 80079-36. Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 36: Räjähdysvaarallisten tilojen muut kuin sähkölaitteet. Perusmenetelmät ja vaatimukset. 2016.
17. SFS-EN ISO 80079-37. Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 37: Räjähdysvaarallisten tilojen muut kuin sähkölaitteet. Muut kuin sähköiset suojaustyypit. 2016.
18. Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012.
19. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 313/1985.
20. Sandberg, E. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1. Toinen painos. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2016.
21. ACGIH Industrial Ventilation Committee. Industrial ventilation, A Manual of Recommended Practice for Design. 27th Edition. Ohio. 2010.
22. Sandberg, E. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Toinen painos. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2016.
23. Työterveyslaitos. Tärpätin tiedot. Päivitetty 11/2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/ova/tarpatti.html> [viitattu 4.3.2020].

24. Sosiaali- ja terveysministeriö. HTP-arvot 2018 Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-00-3937-0> [viitattu 7.4.2020].
25. Oras. 4 helppoa tapaa säästää vettä suihkussa. 2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oras.com/fi/inspiraatio/blogi/post/4-helppoa-tapaa-saastaa-vetta-suihkussa/> [viitattu 7.4.2020].
26. SFS-EN 1127-1. Räjähdyksenvaaralliset tilat. Räjähdyksen esto ja suojaus. Osa 1: Peruskäsitteet ja menetelmät. 2019.

Päästö määrän arviointi putkistossa

Lähtötiedot

Teollisuuspumppu pumppaa tärpättiä sille rakennetussa pumppuhuoneessa.

Tilan tilavuus	26,8 m ³
Tilan leveys	3,85 m
Tilan korkeus	2,3 m
Raitisilma-aukon pinta-ala	640 cm ²
Vuotava aine	Tärpätti

Tärpätin ominaisuudet

CAS-numero	80064-64-2
Molekyylikaava	C ₁₀ H ₁₆
Moolimassa	136 kg/kmol
Kaasuryhmä	IIA
Lämpötilaluokka	T3
Alempi räjähdysraja	0,8 % / 45,6 g/m ³
Ylempi räjähdysraja	6 %
HTP	25 ppm (140 mg/m ³)/8h 50 ppm (280 mg/m ³)/15min
Hajukynnys	100 ppm (570 mg/m ³)
Tiheys, neste	870 kg/m ³
Leimahduspiste	35 °C
Itsesyttymislämpötila	247 °C

Päästölähteen ominaisuudet

Pumppu päällä	4-6 kertaa/kk
Käyntiaika	1-2 h/kerta
LFL, varmuuskerroin, k	1, ei syytä muuhun arvoon
C _d , purkautumiskerroin	0,75
S, Purkausaukon pinta-ala	5 mm ²
Päästölähteen paine-ero	2,1 bar

Putkistosta maahan vuotavan nesteen massavirraksi saadaan:

$$q_v = 0,75 * 5 * 10^{-6} \sqrt{2 * 870 * 210\,000} = 0,0717 \text{ kg/s}$$

Päästön tilavuusvirta on:

$$q_v = \frac{0,0717 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 8,241 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,08 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Oletetaan, että 2 % vuotavasta nesteestä haihtuu ilmaan ja loppu valuu viemäriin. Kaasun massavirraksi saadaan:

$$q_g = 0,0717 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 0,02 = 1,434 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1,4 \text{ g/s}$$

Kaasun tiheys saadaan yhtälöstä:

$$\rho_g = \frac{136 * 101\,300}{8314 * 293} = 5,7 \text{ kg/m}^3$$

Jolloin tilavuusvirta on:

$$q_{g,t} = \frac{1,434 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{5,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2,516 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,25 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Suhteelliseksi päästömääräksi saadaan;

$$q' = \frac{1,434 * 10^{-3} \frac{kg}{s}}{5,7 \frac{kg}{m^3} * 1 * 0,008} = 0,03 \frac{m^3}{s}$$

Tilaan syntyvät päästöt ovat:

$1,434 * 10^{-3} \text{ kg/s}$ & $2,529 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

Suhteellinen päästömäärä

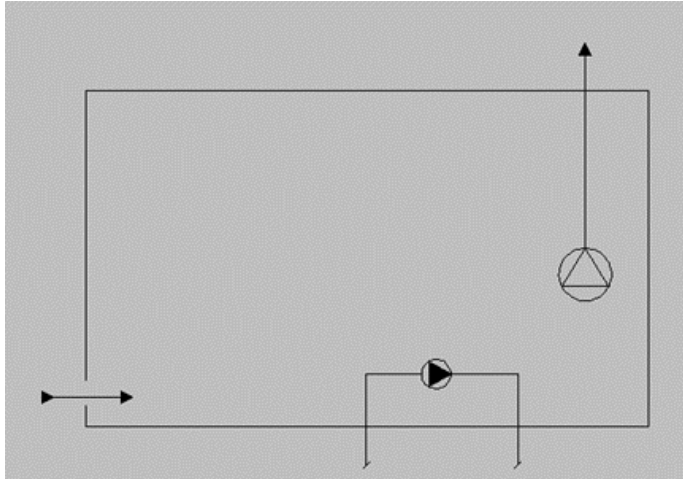
$0,03 \text{ m}^3/\text{s}$

Ilmavirtojen mitoitus, koneellinen poistoilma

Mitoitus, kun ilmanvaihtokerroin $n = 6 \text{ 1/h}$

Mitoituskriteeri: $n = 6 \text{ 1/h}$

Järjestelmä: Koneellinen poistoilmanvaihto



Ilmavirta, kun $n = 6 \text{ 1/h}$, ilmanvaihdon aikavakio $t \sim 10 \text{ min}$.

$$q_{i,t} = \frac{6 \frac{1}{h} * 26,8 \text{ m}^3}{3600} = 0,045 \frac{\text{m}^3}{s} = 45 \frac{\text{dm}^3}{s}$$

Taustapitoisuuden laskennassa käytetään f :n arvona 2, huonon sekoittumisen perusteella. Tällöin taustapitoisuudeksi saadaan:

$$C_t = \frac{2 * 1,4 \frac{g}{s}}{0,045 \frac{\text{m}^3}{s}} = 62,2 \frac{g}{\text{m}^3}$$

Kun ilmavirran nopeus lasketaan yhtälöllä $q_i, v/(L*H)$ saadaan arvoksi $0,005 \text{ m/s}$. Voidaan kuitenkin olettaa ilmavirran saavuttavan käytännössä vähintään nopeuden $0,05 \text{ m/s}$.

Tilan ilmavirran nopeus on $0,05 \text{ m/s}$

Suhteellinen päästö määrä on $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$

Standardissa EN 60079-10-1 esitetyn kaavion mukaan päästön laimeneminen luokitellaan tyydyttäväksi.

Taustapitoisuus nousee tilassa alemman räjähdysrajan yläpuolelle.

Aika, jossa ilma laimenee, alle alemman räjähdysrajan on:

$$t_d = \frac{1}{0,0017} * \ln\left(\frac{62,2}{45,6}\right) = 183 \text{ s} = 0,05 \text{ h} = 3 \text{ min}$$

Aika, jossa ilma laimenee alle kriittisen pitoisuuden (0,25*LFL) on:

$$t_d = \frac{1}{0,0017} * \ln\left(\frac{62,2}{45,6 * 0,25}\right) = 998 \text{ s} = 0,28 \text{ h} = 16,8 \text{ min}$$

Mitoitus, teoreettinen minimi ilmavirta

Mitoituskriteeri: teoreettinen minimi ilmavirta

Järjestelmä: Koneellinen poistoilmanvaihto

Teoreettinen minimi ilmavirta päästön laimenemiseksi alemman räjähdysrajan alapuolelle on:

$$q_{i,t,min} = \frac{1,4 \frac{g}{s}}{1 * 45,6 \frac{g}{m^3}} * \frac{293K}{293 K} = 0,031 \frac{m^3}{s} = 31 \frac{dm^3}{s}$$

Ilmanvaihtokertoimeksi saadaan:

$$n = \frac{0,031 \frac{m^3}{s} * 3600}{26,8 m^3} = 4 \frac{1}{h} = 0,0011 \frac{1}{s}$$

Tilan ilma ei pelkällä poistoilmapuhaltimeilla ole täysin sekoittunutta. Taustapitoisuuden laskennassa käytetään f:n arvona 2, tällöin taustapitoisuudeksi saadaan:

$$C_t = \frac{2 * 1,4 \frac{g}{s}}{0,031 \frac{m^3}{s}} = 90,3 \frac{g}{m^3}$$

Kun ilmavirran nopeus lasketaan yhtälöllä $q_i, v/(L*H)$ saadaan arvoksi 0,0035 m/s. Voidaan kuitenkin olettaa ilmavirran saavuttavan käytännössä vähintään nopeuden 0,04 m/s.

Tilan ilmavirran nopeus on 0,04 m/s

Suhteellinen päästö määrä on 0,03 m³/s

Standardissa EN 60079-10-1 esitetyn kaavion mukaan päästön laimeneminen luokitellaan tyydyttäväksi.

Taustapitoisuus nousee tilassa alemman räjähdysrajan yläpuolelle.

Aika, jossa ilma laimenee, alle alemman räjähdysrajan on:

$$t_d = \frac{1}{0,0011} * \ln\left(\frac{90,3}{45,6}\right) = 621 \text{ s} = 0,17 \text{ h} = 10,2 \text{ min}$$

Aika, jossa ilma laimenee alle kriittisen pitoisuuden (0,25*LFL) on:

$$t_d = \frac{1}{0,0011} * \ln\left(\frac{90,3}{0,25 * 45,6}\right) = 1\,881 \text{ s} = 0,52 \text{ h} = 31,2 \text{ min}$$

Mitoitus, kun tavoite arvo on 25% * LFL

Mitoituskriteeri: Taustapitoisuuden tavoitearvo 25% * LFL

Järjestelmä: Koneellinen poistoilmanvaihto

Ilmavirta, jolla taustapitoisuus pysyy 25% alemmasta syttymisrajasta on:

$$q_{i,t} = \frac{1,4 \frac{g}{s}}{0,25 * 45,6 \frac{g}{m^3}} = 0,123 \frac{m^3}{s} = 123 \frac{dm^3}{s}$$

Ilmanvaihtokertoimeksi saadaan:

$$n = \frac{0,123 \frac{m^3}{s} * 3600}{26,8 m^3} = 17 \frac{1}{h} = 0,005 \frac{1}{s}$$

Tilan ilma ei pelkällä poistoilmapuhaltimella ole täysin sekoittunutta. Taustapitoisuuden laskennassa käytetään f:n arvona 2, tällöin taustapitoisuudeksi saadaan:

$$C_t = \frac{2 * 1,4 \frac{g}{s}}{0,123 \frac{m^3}{s}} = 22,8 \frac{g}{m^3}$$

Kun ilmavirran nopeus lasketaan yhtälöllä $q_i, v/(L*H)$ saadaan arvoksi 0,014 m/s. Voidaan kuitenkin olettaa ilmavirran saavuttavan käytännössä nopeuden 0,1-0,2 m/s.

Tilan ilmavirran nopeus on 0,1 m/s

Suhteellinen päästömäärä on 0,03 m³/s

Standardissa EN 60079-10-1 esitetyn kaavion mukaan päästön laimeneminen luokitellaan tyydyttäväksi.

Aika, jossa ilma laimenee alle kriittisen pitoisuuden ($0,25 \cdot \text{LFL}$) on:

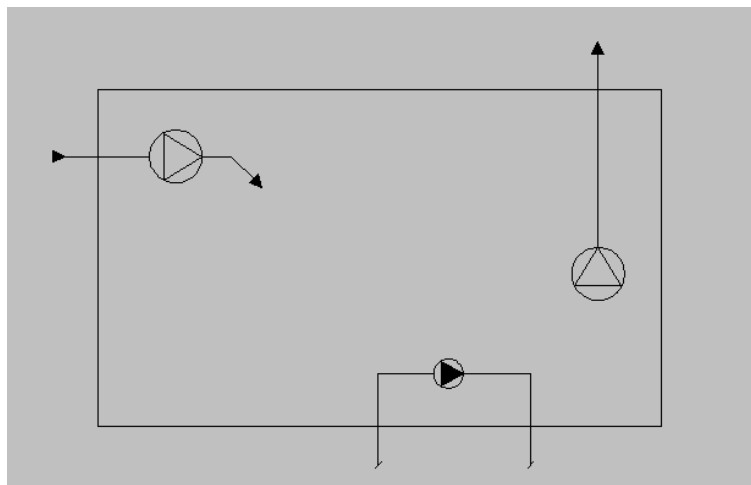
$$t_d = \frac{1}{0,005} * \ln\left(\frac{22,4}{0,25 * 45,6}\right) = 135 \text{ s} = 0,04 \text{ h} = 2,4 \text{ min}$$

Ilmavirtojen mitoitus, koneellinen tulo- ja poistoilma

Mitoitus, kun ilmanvaihtokerroin $n = 6 \text{ 1/h}$

Mitoituskriteeri: $n = 6 \text{ 1/h}$

Järjestelmä: Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto



Ilmavirta, kun $n = 6 \text{ 1/h}$, ilmanvaihdon aikavakio $t \sim 10 \text{ min}$.

$$q_{i,t} = \frac{6 \frac{1}{h} * 26,8 \text{ m}^3}{3600} = 0,045 \frac{\text{m}^3}{s} = 45 \frac{\text{dm}^3}{s}$$

Tilan ilman voi olettaa olevan niin sekoittunutta, että voidaan käyttää taustapitoisuutta laskiessa f :n arvona 1, tällöin taustapitoisuudeksi saadaan:

$$C_t = \frac{1 * 1,4 \frac{g}{s}}{0,045 \frac{\text{m}^3}{s}} = 31,1 \frac{g}{\text{m}^3}$$

Tilan tuotavan koneellisen ilmavirran nopeuden tavoitearvo on $0,5 \text{ m/s}$

Suhteellinen päästömäärä on $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$

Standardissa EN 60079-10-1 esitetyn kaavion mukaan voidaan päästön laimeneminen luokitella voimakkaaksi. Taustapitoisuus kohoaa kuitenkin yli kriittisen pitoisuuden, joten laimeneminen luokitellaan lopulta vain tyydyttäväksi.

Taustapitoisuus nousee tilassa yli kriittisen pitoisuuden.

Aika, jossa ilma laimenee alle kriittisen pitoisuuden ($0,25 \cdot \text{LFL}$) on:

$$t_d = \frac{1}{0,0017} * \ln\left(\frac{31,1}{0,25 * 45,6}\right) = 590 \text{ s} = 0,16 \text{ h} = 9,6 \text{ min}$$

Mitoitus, teoreettinen minimi ilmavirta

Mitoituskriteeri: teoreettinen minimi ilmavirta

Järjestelmä: Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Teoreettinen minimi ilmavirta päästön laimenemiseksi alemman räjähdysrajan alapuolelle on:

$$q_{i,t,min} = \frac{1,4 \frac{g}{s}}{1 * 45,6 \frac{g}{m^3}} * \frac{293K}{293 K} = 0,031 \frac{m^3}{s} = 31 \frac{dm^3}{s}$$

Ilmanvaihtokertoimeksi saadaan:

$$n = \frac{0,031 \frac{m^3}{s} * 3600}{26,8 m^3} = 4 \frac{1}{h} = 0,0011 \frac{1}{s}$$

Tilan ilman voi olettaa olevan niin sekoittunutta, että voidaan käyttää taustapitoisuutta laskiessa f :n arvona 1, tällöin taustapitoisuudeksi saadaan:

$$C_t = \frac{1 * 1,4 \frac{g}{s}}{0,031 \frac{m^3}{s}} = 45,2 \frac{g}{m^3}$$

Tilan tuotavan koneellisen ilmavirran nopeuden tavoitearvo on 0,5 m/s

Suhteellinen päästö määrä on 0,032 m³/s

Standardissa EN 60079-10-1 esitetyn kaavion mukaan voidaan päästön laimeneminen luokitella voimakkaaksi. Taustapitoisuus kohoaa kuitenkin yli kriittisen pitoisuuden, joten laimeneminen luokitellaan lopulta vain tyydyttäväksi.

Aika, jossa ilma laimenee alle kriittisen pitoisuuden (0,25*LFL) on:

$$t_d = \frac{1}{0,0011} * \ln\left(\frac{45,2}{0,25 * 45,6}\right) = 1252 \text{ s} = 0,35 \text{ h} = 21,0 \text{ min}$$

Mitoitus, kun tavoite arvo on 25% * LFL

Mitoituskriteeri: Taustapitoisuuden tavoitearvo 25% * LFL

Järjestelmä: Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Ilmavirta, jolla taustapitoisuus pysyy 25% alemmasta syttymisrajasta on:

$$q_{i,t} = \frac{1,4 \frac{g}{s}}{0,25 * 45,6 \frac{g}{m^3}} = 0,123 \frac{m^3}{s} = 123 \frac{dm^3}{s}$$

Ilmanvaihtokertoimeksi saadaan:

$$n = \frac{0,123 \frac{m^3}{s} * 3600}{26,8 m^3} = 17 \frac{1}{h} = 0,005 \frac{1}{s}$$

Tilan ilman voi olettaa olevan niin sekoittunutta, että voidaan käyttää taustapitoisuutta laskiessa f:n arvona 1, tällöin taustapitoisuudeksi saadaan:

$$C_t = \frac{1 * 1,4 \frac{g}{s}}{0,123 \frac{m^3}{s}} = 11,4 \frac{g}{m^3}$$

Tilan tuotavan koneellisen ilmavirran nopeuden tavoitearvo on 0,5 m/s

Suhteellinen päästömäärä on 0,032 m³/s

Standardissa EN 60079-10-1 esitetyn kaavion mukaan päästön laimeneminen luokitellaan voimakkaaksi. Taustapitoisuuden ollessa alle kriittisen pitoisuuden voidaan laimeneminen luokitella lopulta voimakkaaksi.

Aika, jossa ilma laimenee alle kriittisen pitoisuuden (0,25*LFL) on:

$$t_d = \frac{1}{0,005} * \ln\left(\frac{11,4}{0,25 * 45,6}\right) = 0 s$$

Ilmanvaihdon suunnitteluprosessi kaasuräjähdyksvaarallisissa tiloissa

